

宇宙開発

研究開発本部 広報誌

最前線



Vol.3
2014 Summer

特集

研究
開発

「はやぶさ2」で新たな高みへ

遠い宇宙から弱い信号を受信し宇宙機を追跡する技術

電力確保の厳しい月面探査などに向けたヒートスイッチの研究開発

人工衛星の姿勢制御装置に使われるホイール用軸受のシミュレーションの成果と課題

Cover Topics

イノベーションを創出できる 研究開発本部への変革

樋口 清司

HIGUCHI Kiyoshi

研究開発本部 本部長

2014年4月、JAXA副理事長と筑波宇宙センター所長を併任する形で、研究開発本部長に就任しました。振り返るとJAXAは2003年の発足から10年間、“失敗しない組織”を目指してきました。ロケット打ち上げ成功の実績を重ねるなどして、ある程度は目標を達成したと認識しています。

しかし、民間企業がロケットや衛星関連のビジネスを進める現在、これまでどおりのことをしてはJAXAの存在意義がなくなります。来年から開始予定の「研究開発法人」の制度のもと、JAXAには、国家が必要とする技術を開発し、かつ、その技術力で産業界や学術界を牽引することが求められようとしています。このためJAXAは与えられた課題を失敗せずに取り組む組織から、自ら課題を設けてイノベーションを起こす組織に変わらなければなりません。その変革の中核を担う部門が、私ども研究

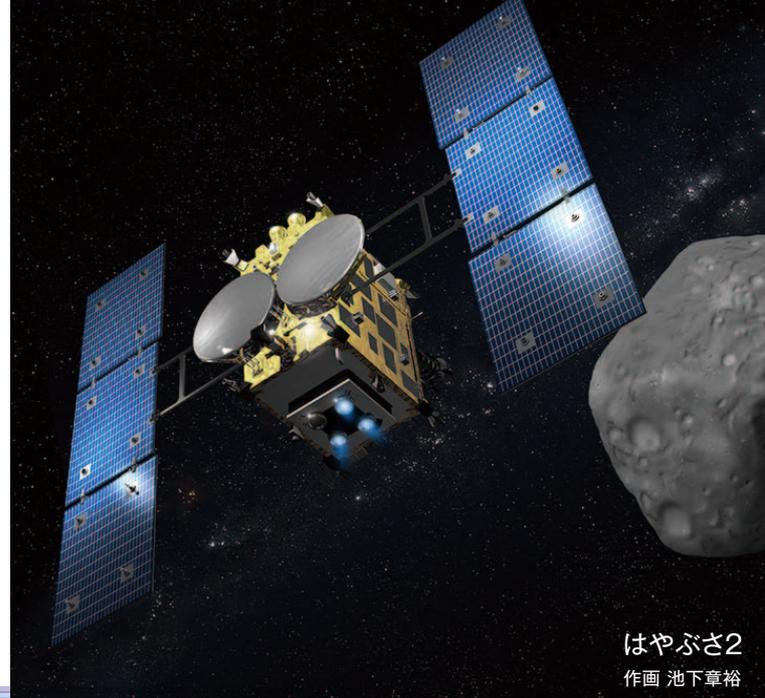
開発本部であると認識しています。

イノベーションとはどこから起きるのでしょうか。自分の知を深めることも大切かもしれませんが、しかし、より大切なのは、自分の知を他人の知と触れさせることではないでしょうか。JAXA内部では、研究者同士の人的交流を活性化させる談話会や異なる分野の研究者がアイデアを出し合って進める萌芽研究の推奨などの取り組みを始めています。対外的にも、つくば研究学園都市をはじめとする外部の研究機関や大学の研究者の方々に、お互いに利点を得られるような連携をどんどん提案して参りたいと考えています。

研究開発本部の全メンバーの仕事の結果に対する責任者としての覚悟をもちながら、日本の航空宇宙の技術を牽引する役割を果たしたいと思います。どうかよろしくお願ひします。

遠い宇宙から 弱い信号を受信し 宇宙機を追跡する技術

深宇宙探査機の運用では、微弱な電波信号をキャッチして通信を保つことが欠かせません。それを実現するのが、軌道を追跡し予測する技術です。2014年度より計画されている「はやぶさ2」のミッションではこの技術の進化に挑戦します。



はやぶさ2
作画 池下章裕

世界最大級のアンテナで 通信という“生命線”を保つ

JAXAの宇宙機には、月よりさらに遠い「深宇宙」を飛行し、惑星や小惑星を目指すことを目的とする深宇宙探査機があります。2014年度に打ち上げられる計画の「はやぶさ2」も、深宇宙の小惑星「1999 JU3」からのサンプルリタンのミッションを担っています。地球の周りの軌道を脱して深宇宙を飛行する探査機を運用しつづけるには、とりわけ探査機との通信リンクを安定的に確保することが欠かせません。そこで、探査機の進路である「軌道」を精度よく追跡する技術が求められています。

「深宇宙探査機がどんなに優れた観測機器を搭載しても、地上と通信が途絶えれば宇宙で“迷子”になってしまい、ミッションの意味がなくなります。通信という“生命線”をつなぐ技術を進歩させるのが私たちの仕事です」。軌道・航法グループの嘉生幸代開発員はそう話します。

「はやぶさ2」や先代「はやぶさ」と地球の距離は最大で約3億kmにもなります。これは地球の周りを飛行する低軌道衛星の数十万倍の距離。遠く離れた深宇宙探査機とを結ぶ電波信号はとても微弱になるため、高感度のアンテナで送受信する必要があります。

その役割を果たしているのが、JAXA 臼田宇宙空間観測所(長野県佐久市)にある世界最大級の直径64m反射鏡をもつ大型パラボラアンテナです。大型アンテナから深宇宙探査機に電波信号を

臼田宇宙空間観測所



送り、戻ってくる電波の時間や方向などをもとに探査機の位置を把握します。地球の自転の関係上、臼田のアンテナから探査機が見えない時間帯もあるため、NASAのディープスペースネットワーク(DSN)と呼ばれる世界各地の深宇宙通信用アンテナを利用することもあります。

「はやぶさ2」と地上との電波信号の往復には最大30分かかります。通信を保つには探査機がこの先どのような軌道を進むか、あらかじめ予測しておくことが大切になります。それまでの軌道データをもとに、探査機がこれから通ると予想される軌道の方向にアンテナを向けておきます。その軌道を通った探査機からの電波信号を受信できれば、位置が確認されたことになります。これを繰り返すことで、探査機の軌道を追跡していくのです。

「はやぶさ2」で精度向上に挑戦 小惑星の重力推定なども

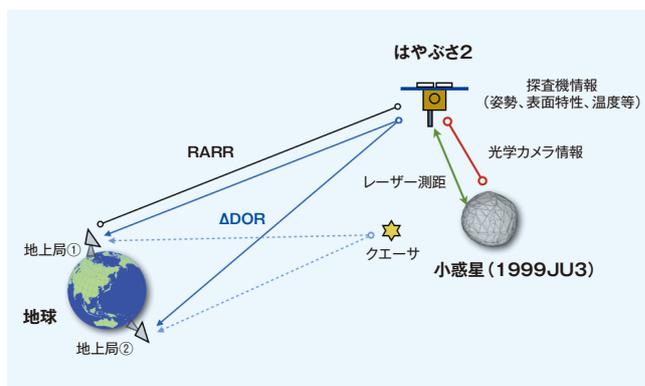
「はやぶさ」から「はやぶさ2」の間では、軌道追跡技術の進歩に挑戦します。同グループの廣瀬史子主任開発員は、「『はやぶさ2』のデータを利用し、軌道決定精度を『はやぶさ』の頃よりも1桁、上げる技術を獲得したい」と説明します。

精度の向上により、「はやぶさ2」が目指す小惑星そのものの正体もより詳しく解明されるかもしれません。「はやぶさ2」が小惑星に近づいたとき、搭載のレーダ高

度計を使って小惑星との距離を測り、小惑星の重力を推定するというミッションがあります。「はやぶさ2」の飛行する軌道が正確に求められれば、小惑星の重力もより詳しく推定することができるのです。

「また、イオンエンジンを噴射させながらの軌道予測も試みる方向です」(廣瀬主任開発員)。前回の「はやぶさ」の運用では軌道を把握するために、推進力のイオンエンジンをオフにしていました。「はやぶさ2」では、臼田宇宙空間観測所の大型アンテナにより通信状態が安定して保たれることが確実にできれば、イオンエンジンを噴射させたままの軌道把握を定常化できる見通しです。

「地上からの電波だけでなく、探査機自体の温度情報なども軌道決定に利用するといった研究もしています」(同)。例えば、探査機が宇宙空間に熱を放射する際も、探査機の軌道に微妙な影響を及ぼします。そこで、その熱放射エネルギーにより探査機にどのくらいの加速度が発生したか把握することを軌道推定に役立てよう



はやぶさ2で目指す高精度軌道決定技術

話を聞いた人

廣瀬史子
HIROSE Chikako
軌道・航法グループ
主任開発員

嘉生幸代
KASHO Sachiyo
軌道・航法グループ
開発員

としています。この方法は、金星への再接近を目指している探査機「あかつき」で実際にデータを蓄積し、予測精度を改善する研究に活用されます。「はやぶさ2」においても、 Δ DOR(デルタドア)と呼ばれる、複数のアンテナで電波を受信し、電波が到着するわずかな時間差から衛星位置を求める方法や、衛星搭載のカメラが撮像した画像データなど、様々な種類の観測

データを使って予測精度を向上させたいと考えています。

ミッションを成功させるだけでなく 選択肢を広める技術に

軌道・航法グループは、深宇宙探査のミッションごとに、得られたデータやノウハウを積み重ねていき、軌道追跡や軌道予

測の技術を高めています。将来的には、探査機が惑星の大気を利用して惑星周回軌道を得る「エアロキャプチャ」などの技術にも応用される可能性があります。

定められた深宇宙探査ミッションを成功させるためだけでなく、より自由にチャレンジングなミッションの選択肢を拡大させることにも、軌道追跡や軌道予測の技術が役立てられていきそうです。

電力確保の厳しい 月面探査などに向けた ヒートスイッチの研究開発

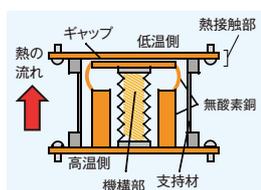
宇宙環境では宇宙機の熱制御が重要です。電力が限られる条件でも熱設計を成立できる、月面ローバや人工衛星向けの「ヒートスイッチ」の開発が進んでいます。

過酷な熱変化の環境を スイッチで乗り切る

宇宙機では、太陽など外部から来る熱や宇宙機内部で発生する熱を効率良く宇宙へ排出し、各機器を求められる温度に保つ熱制御が必要です。しかし、宇宙環境は地球より総じて過酷です。特に、大気がほぼ存在しない月面では、赤道付近で昼の温度が110℃、夜の温度が-170℃にもなります。JAXAを含め世界各国の宇宙機関が月面探査のため月面ローバを開発していますが、ローバが受ける熱の影響を効率よく制御する技術の開発が重要課題になっています。

研究開発本部の熱グループは、月面ローバや人工衛星などでの活用を想定した「ヒートスイッチ」の開発に取り組んできました。ヒートスイッチとは、高い熱伝導または低い熱伝導をつくり出すことのできる「熱のスイッチ」です。熱の制御にはヒータを使う方法もありますが、電力確保の厳しい月面などでは、より少ない電力で熱設計を成立しうるヒートスイッチの活用が期待されています。また、ヒートスイッチは宇宙機の熱設計の柔軟性・自在性を高めると考えられるため、地球周回衛星への搭載も期待されます。

ヒートスイッチには方式がいくつかあります。例えば、形状記憶合金やパラフィンを用



概略図

いた機械式、欧州の人工衛星「Planck」に搭載されたガスギャップ式があります。「私たちは、実現性の高

さを考えて、機械式というシンプルな方式を選択しました」と、同グループの篠崎慶亮開発員は話します。機械式とは、熱伝導のオン・オフを、機械的に接触・非接触で切り換える方式です。機械式の中でも、蝋燭の原料パラフィンが熱膨張することで、接触・非接触が切り換わる原理を採用しました。

開発目標は高さ5cm以内、1W/Kという高熱伝導度、オンとオフでの熱伝導度の比が100以上といったものです。

試作を積み重ねて すべての目標を達成

熱グループは、2009年の研究開発着手から試作を重ねて目標達成を目指してきました。2009年の第1段階では、パラフィンの機構部を設けない部分試作でした。2010年の第2段階では機構部を含めた試作品で、手の平サイズを実現しましたが、オン・オフでの熱伝導比が30未満でスイッチの効果は十分ではありませんでした。そこで、スイッチの熱伝導度を高めるため、同グループの安藤麻紀子開発員がアルミと銅の熱接触部に金のコーティングを5μmの厚さで施し、それにより熱接触部熱伝導度を2倍以上高めました。2013年、設計の実現性を確認するために製作したブレッドボードモデル(BBM)の段階で全目標を達成するに至りました。

ヒートスイッチなどの研究開発では、三菱電機の実現性・信頼性の高いモノづくりの技術を取り入れた着実な開発を進めながら、筑波大学と連携して学術的価値の高い要素を抽出し性能向上を目指してきました。



外観写真

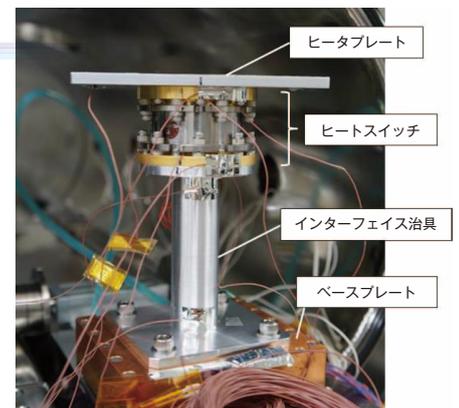
話を聞いた人

篠崎慶亮

SHINOZAKI Keisuke
熱グループ 開発員

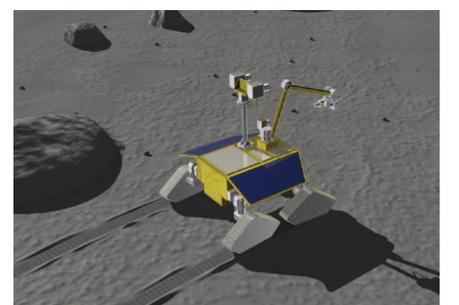
安藤麻紀子

ANDO Makiko
熱グループ 開発員



試験装置

今後、ヒートスイッチを搭載した人工衛星あるいは月面ローバなどの宇宙機での実証段階へと移っていく予定です。



月面ローバのイメージ



ヒートスイッチの開発に携わったスタッフ
左より、岡本篤主任開発員、安藤麻紀子開発員、
篠崎慶亮開発員、杉田寛之 熱グループ長

ホイール用軸受のシミュレーションの成果と課題

研究開発本部は、人工衛星の姿勢制御装置などに使われる軸受(ベアリング)の動きをシミュレーションするプログラムを開発しました。軸受の性能向上に活かされています。

話を聞いた人



野木高

NOGI Takashi
構造・機構グループ
主任研究員



間庭和聡

MANIWA Kazuaki
構造・機構グループ
開発員



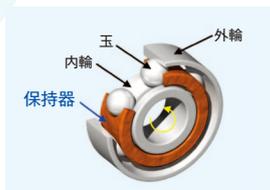
ホイール用軸受の外観写真

衛星に使われる油潤滑玉軸受の リターナインスタビリティを抑えたい

「軸受」(ベアリング)という、回転軸を支える部品があります。自動車など数多くの機械に使われていますが、人工衛星にも多く使用されています。人工衛星の姿勢を制御するリアクションホイールや、角速度を検出するジャイロスコープには、「油潤滑玉軸受」が使われています。

人工衛星では、こうした軸受が微小重力環境で1分間に数千回転という速度で作動する使われ方をします。使える電力も限られているため、摩擦を極力減らした回転が求められます。また、他の機器に悪影響をあたえる振動も極力抑えなければなりません。

油潤滑玉軸受の摩擦や振動を抑える上で重要になるのが、複数の玉それぞれを等間隔に保持させておく「保持器(リターナ)」の動きを安定させることです。回転中、保持器がすきま内で激しく運動する現象は「リターナインスタビリティ(RI)」とよばれ、問題となってきました。RIが原因で、摩擦熱から軸受の焼き付きが起き、最悪、人工衛星自体が使えなくなる場合があります。



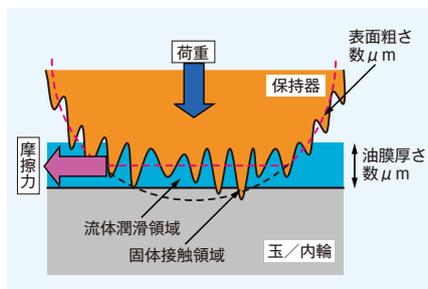
玉軸受の構造

運動方程式から シミュレーションを構築

油潤滑玉軸受の動きを安定化させるために、構造・機構グループはコンピュータ・シミュレーションで動きを予測する手法を開発しました。「毎分数千回で回転している軸受の内部を実験で観察することが難しいため、シミュレーションも利用することにしました」と、同グループの間庭和聡開発員は経緯を説明します。

シミュレーションの開発では、軸受のパーツのうち接触や摩擦に関わる玉、内輪、外輪、それに保持器について運動方程式を立てて、それを解くことを基本方針としました。同グループの野木高主任研究員は、「常識的に考えると油が多いほうが潤滑がうまくいくはずですが、でも、実験してみたところ、逆に油が多すぎるとRIが起りやすくなるという結果になりました」と振り返ります。そこで、「油の量」についてもシミュレーションのための摩擦モデルに加味しました。

また、摩擦モデルの検証として、摩擦に関係する部分に絞った試験を行い、実際の摩擦測定結果が計算とよく合うことを確認しました。さらに、シミュレーション時間を減らすため、摩擦係数の計算だけを様々な条件で行い、その結果をまとめて、同じような結果が得られる単純な式を構築していきました。



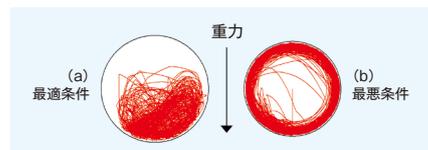
混合潤滑モデルの接触部模式図

シミュレーション技術の課題も

作成したシミュレーションモデルで、寸法や油量といったパラメータをいろいろ変えて、RIが起きやすい軸受とRIが起きにくい軸受を予測しました。その予測をもとに設計した保持器の安定性を実験で確認したところ、わざとRIが起きやすいように設計した軸受ではやはりRIが起き、逆に最適の設計ではRIが抑えられる結果となりました。シミュレーションが実際の結果と合致することが確かめられたわけです。

油潤滑玉軸受のRIの問題を解決するシミュレーション・プログラムは、実際のリアクションホイール用軸受の設計に活用されています。これら装置の安定動作や耐久性の向上が期待されます。

「シミュレーションによって、軸受の潤滑寿命や発生する小さな振動を正確に予測するには至っていないので、そのあたりは今後の課題です」(間庭開発員)。今後の研究により、さらにシミュレーション技術が軸受の性能向上に寄与する余地はありそうです。



保持器中心の軌跡のシミュレーション結果



真空軸受回転試験装置

【お知らせ】
SDS-4外部利活用プロジェクト

JAXA純正小型衛星「SDS-4」を使って「新しいこと」始めてみませんか？ こちらのHPに利活用事例を掲載しています。お問い合わせもHPからどうぞ！ <http://www.ard.jaxa.jp/research/jissyousds4/sds4-utilization.html>